



日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日

Date of Application:

2001年 2月13日

出願番号

Application Number:

特願2001-036088

出願人

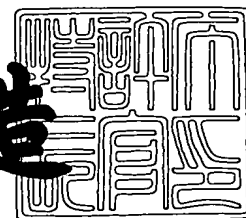
Applicant(s):

株式会社荏原製作所

2001年 8月10日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2001-3070895

【書類名】 特許願

【整理番号】 002253

【提出日】 平成13年 2月13日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G01N 23/225

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号 荏原マイスター株式
会社内

【氏名】 中筋 護

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号 株式会社荏原製作所
内

【氏名】 佐竹 徹

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号 株式会社荏原製作所
内

【氏名】 吉川 省二

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号 株式会社荏原製作所
内

【氏名】 金馬 利文

【特許出願人】

【識別番号】 000000239

【氏名又は名称】 株式会社荏原製作所

【代理人】

【識別番号】 100089705

【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 2 番 1 号 新大手町ビル 2
0 6 区 ユアサハラ法律特許事務所

【弁理士】

【氏名又は名称】 社本 一夫

【電話番号】 03-3270-6641

【選任した代理人】

【識別番号】 100091063

【弁理士】

【氏名又は名称】 田中 英夫

【選任した代理人】

【識別番号】 100096068

【弁理士】

【氏名又は名称】 大塚 住江

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 051806

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0010958

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 電子線装置及び該装置を用いたデバイス製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 電子線装置であって、

前記対物レンズの少なくとも 3 つの励起電圧に関して、前記第 1 の方向に平行なパターン・エッジを前記第 2 の方向に走査したときの二次電子信号波形の立ち上がりを表す第 1 のデータと、前記第 2 の方向に平行なパターン・エッジを前記第 1 の方向に走査したときの二次電子信号波形の立ち上がりを表す第 2 のデータとを測定する測定手段と、

前記第 1 のデータと前記第 2 のデータとをそれぞれ二次式で近似し、それぞれの前記二次式の最小値を示す前記対物レンズの励起条件を求める手段と、

前記対物レンズを、求められた前記励起条件の代数平均に合せる手段と、
を具備した

ことを特徴とする電子線装置。

【請求項 2】 請求項 1 又は 2 記載の電子線装置が複数個、前記試料に対して配置された電子線装置であって、

前記複数の一次電子線のそれぞれを、対応の前記対物レンズにより、同時に且つ前記試料の異なる場所に集束させる
ことを特徴とする電子線装置。

【請求項 3】 請求項 1 又は 2 に記載の電子線装置であって、

前記パターンが帯電している状態で、前記励起手段によって前記対物レンズを前記代数平均に等しい電圧で励起した後に非点収差を補正し、その後、前記パターンの評価を行う手段を更に備えることを特徴とする電子線装置。

【請求項 4】 対物レンズを含む電子光学系により電子線を集束させ、パターンを前記電子線で走査することにより、該パターンの評価を行う電子線装置であって、

前記対物レンズは、アースに近い電圧が印加される第 1 の電極と、アースから遠い電圧が印加される第 2 の電極とを備え、

前記第 1 の電極に印加される電圧を変化させることによって、前記対物レンズ

の焦点距離を変化させることができ、

前記励起手段が、前記対物レンズの焦点距離を大きく変化させるために前記第 2 の電極に印加する電圧を変える手段と、前記焦点距離を短時間で変化させるために前記第 1 の電極に印加する電圧を変える手段とを備えることを特徴とする電子線装置。

【請求項 5】 請求項 1 ～ 4 のいずれかに記載の電子線装置を用いて、プロセス途中の半導体ウェーハの評価を行うことを特徴とするデバイス製造方法。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1 】

【発明の属する技術分野】

この発明は、0.1 ミクロン以下の線幅を持つパターンの欠陥検査、CD 測定、合わせ精度測定、高時間分解能での電位測定等の諸評価を高スループット、高精度且つ高信頼性で行うことができる電子線装置及び該装置を用いたデバイス製造方法に関する。

【 0 0 0 2 】

【従来の技術】

半導体ウェーハ等の試料の表面に形成されたパターンの評価を、電子線による走査の結果を用いて高精度で行う場合、試料の高さの変化を考慮することが必要である。これは、試料の高さにより、該試料の表面上のパターンと該パターンに電子線を集束させる対物レンズとの間の距離が変化して、合焦条件はずれにより解像度が低下してしまい、正確な評価ができないためである。

【 0 0 0 3 】

これを解消するため、試料面に対して斜めに光を入射させ、その反射光を利用して試料の高さを測定し、その測定結果を、電子線を試料に集束させるための電子光学系に帰還させて、電子光学系の構成要素に供給する電流や電圧を制御することにより、電子光学系の焦点合わせを行う電子線装置は公知である。

【 0 0 0 4 】

しかし、試料に対して斜めに光を入射させる方式においては、試料面と電子光学系の下面との間のスペースに、入射光を反射させるための、絶縁物を主体とす

る光学部品を配置しなければならない。このためには、試料面と電子光学系の下面との間の間隔を必要以上に大きく取る必要があるが、そうすると電子光学系の収差等の問題が無視し得なくなる。しかしながら、電子光学系の焦点合わせと電子光学系の収差等の問題の解消とを同時に行う手段がないのが実状であった。

【0005】

また、電子光学系の焦点合わせは、試料面と電子光学系の下面との間の距離ばかりでなく、試料面上の帯電状態や、電子線の空間電荷効果をも考慮して行う必要があるので、電子光学系の焦点合わせに関係するパラメータを電子光学的に測定しないならば誤差が発生しかねない。

【0006】

更に、電子光学系に含まれる磁気レンズの励磁電流を調整して焦点合わせを行う場合、この励磁電流を所定値に設定してから電子光学系の焦点距離が安定的に定まるまでの時間、即ち整定時間を長く取ることが必要であるため、高速で焦点合わせを行うことが困難であるという問題もあった。また、静電レンズの励起電圧を変えて電子光学系の焦点合わせを行う場合、静電レンズに印加された高電圧を変化させなければならないので、同様に、整定時間が長くなるという問題があった。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

この発明は、上記の問題点を解決するために提案されたものであり、この発明は、電子光学的に且つ短時間で電子光学系の焦点合わせを行うことができる電子線装置及び該装置を用いたデバイス製造方法を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】

上記の目的を達成するため、請求項1の発明は、
電子線装置であって、

前記対物レンズの少なくとも3つの励起電圧に関して、前記第1の方向に平行なパターン・エッジを前記第2の方向に走査したときの二次電子信号波形の立ち上がりを表す第1のデータと、前記第2の方向に平行なパターン・エッジを前記

第 1 の方向に走査したときの二次電子信号波形の立ち上がりを表す第 2 のデータとを測定する測定手段と、

前記第 1 のデータと前記第 2 のデータとをそれぞれ二次式で近似し、それぞれの前記二次式の最小値を示す前記対物レンズの励起条件を求める手段と、

前記対物レンズを、求められた前記励起条件の代数平均に合せる手段と、
を具備したことを特徴とする電子線装置、
を提供する。

【 0 0 0 9 】

請求項 2 の発明は、請求項 1 又は 2 記載の電子線装置を複数個、前記試料に対して配置し、前記複数の一次電子線のそれぞれを、対応の前記対物レンズにより、同時に且つ前記試料の異なる場所に集束させることを特徴とする。

【 0 0 1 0 】

請求項 3 の発明は、前記パターンが帯電している状態で、前記励起手段によって前記対物レンズを前記代数平均に等しい電圧で励起した後非点収差を補正し、その後、前記パターンの評価を行う手段を更に備えることを特徴とする。

【 0 0 1 1 】

請求項 4 の発明は、

対物レンズを含む電子光学系により電子線を集束させ、パターンを前記電子線で走査することにより、該パターンの評価を行う電子線装置であって、

前記対物レンズは、アースに近い電圧が印加される第 1 の電極と、アースから遠い電圧が印加される第 2 の電極とを備え、

前記第 1 の電極に印加される電圧を変化させることによって、前記対物レンズの焦点距離を変化させることができ、

前記励起手段が、前記対物レンズの焦点距離を大きく変化させるために前記第 2 の電極に印加する電圧を変える手段と、前記焦点距離を短時間で変化させるために前記第 1 の電極に印加する電圧を変える手段とを備える

ことを特徴とする電子線装置
を提供する。

【 0 0 1 2 】

請求項 5 の発明は、

請求項 1 ～ 4 のいずれかに記載の電子線装置を用いて、プロセス途中の半導体ウェーハの評価を行うことを特徴とするデバイス製造方法、
を提供する。

【 0 0 1 3 】

【発明の実施の形態】

図 1 は、この発明に係る電子線装置の一つの実施の形態の構成を概略的に示している。同図において、電子銃 1 はアノード 2 を備え、放出された一次電子線はアノード 2 によって加速されて軸合わせ用偏向器 3、4 及び非点補正レンズ 5 を経て開口板 6 の小孔 7 を通る。開口板 6 を通過した一次電子線はコンデンサ・レンズ 8 によって集束され、偏向器 9、10 を経てウィーン・フィルタ 11 を通過した後、対物レンズ 12 によって縮小され、軸対称電極 13 を経て、ステージ S 上に載置された試料 14 の表面に形成された例えば矩形の複数の回路パターンの一つの上に結像される。軸対称電極 13 は、試料 14 との間に殆どスペースがないよう配置される。ステージ S は、一次電子線が偏向される第 1 の方向に対して直角な第 2 の方向に移動可能であり、このため、一次電子線の偏向とステージ S の移動とにより回路パターンの走査が行われる。

【 0 0 1 4 】

一次電子線による走査の結果、試料 14 上の一つの回路パターンから放出された二次電子線は、対物レンズ 12 の電界によって引かれて加速され、ウィーン・フィルタ 11 によって光軸 L から逸れるように偏向されて一次電子線から分離される。こうして二次電子線は二次電子検出部 15 によって検出される。二次電子検出部 15 は、入射した二次電子線の強度を表す電気信号を出力する。この電気信号は、その対応の増幅器（図示せず）によって増幅された後、画像処理される。

【 0 0 1 5 】

コンデンサ・レンズ 8 によって一次電子線を縮小するため、コンデンサ・レンズ 8 を構成する電極のそれぞれに対して、第 1 の電源 17 から所要の電圧が印加される、一方、対物レンズ 12 はユニポテンシャル・レンズであり、一次電子線

を試料 14 の表面に集束させるため、対物レンズ 12 の中央電極には第 2 の電源 18 から正の高電圧 V_0 ボルトが印加され、対物レンズ 12 の上側電極及び下側電極には第 3 の電源 19 から小さい負電圧 $-\Delta V_0$ ボルトが印加される。

【0016】

電子銃 1、アノード 2、軸合わせ用偏向器 3、4、非点補正レンズ 5、開口板 6、コンデンサ・レンズ 8、偏向器 9、10、ウィーン・フィルタ 11、対物レンズ 12、軸対称電極 13 及び二次電子検出部 15 は、適宜のサイズの鏡筒 16 内に収納されて一つの電子線走査・検出系 20 を構成する。なお、電子線走査・検出系 20 の初期焦点合わせは、負電圧 $-\Delta V_0$ を例えば -10 ボルトに固定しておき、正電圧 V_0 を変化させることによって行い得る。

【0017】

上で説明したように、電子線走査・検出系 20 は、試料 14 上のチップパターンの一つを走査し、走査の結果として試料 14 から放出された二次電子線を検出して、その強度を表す電気信号を出力する。実際には、試料 14 の表面に複数のチップパターンが形成されているので、電子線走査・検出系 20 と同様の構成の電子線走査・検出系（図示せず）が、電子線走査・検出系 20 と並列する形で、互いの距離が試料 14 上のチップ寸法の整数倍の距離になるよう配置される。

【0018】

電子線走査・検出系 20 について更に説明すると、二次電子検出部 15 から出力された電気信号は 2 値化情報へ変換され、この 2 値化情報を画像データに変換する。この結果、試料 14 の表面に形成された回路パターンの画像データが得られ、得られた画像データは適宜の記憶手段に蓄積されると共に、基準の回路パターンと比較される。これにより、試料 14 上に形成された回路パターンの欠陥を検出することができる。

【0019】

なお、試料 14 上の或る回路パターンを表す画像データとの比較のための基準の回路パターンは種々のものを使用することができ、例えば、当該画像データを生じる走査が行われた回路パターンを作製するための CAD データから得られた画像データを用いることができる。

【 0 0 2 0 】

図 1 に示す電子線装置において、対物レンズ 1 2 の上側電極及び下側電極に印加すべき負電圧 $-\Delta V_0$ の値は、以下のようにして決定される。まず、試料 1 4 の表面に形成された任意の一つの回路パターン上に、一次電子線が偏向される第 1 の方向に平行なパターン・エッジと、この第 1 の方向に直角な第 2 の方向に平行なパターン・エッジとが存在する場所を、例えばパターン・データから読み出す。

【 0 0 2 1 】

次いで、偏向器 9、1 0 及びウィーン・フィルタ 1 1 を用いて、一次電子線により、上記第 1 の方向に平行なパターン・エッジを上記第 2 の方向に走査し、その結果放出された二次電子線の強度を表す電気信号を二次電子検出部 1 5 から取り出し、その電気信号の立上がり幅（単位ミクロン）を測定する。同様に、上記第 2 の方向に平行なパターン・エッジについても、偏向器 9、1 0 及びウィーン・フィルタ 1 1 を用いて一次電子線により上記第 1 の方向に走査し、その結果放出された二次電子線の強度を表す電気信号を二次電子検出部 1 5 から取り出し、その電気信号の立上り幅を測定する。この操作を負電圧 $-\Delta V_0$ の値を変える毎に行う。こうして、図 2 の（イ）に示すグラフ A 及び B が求まる。

【 0 0 2 2 】

上記の「電気信号の立上がり幅」を図 2 の（ロ）を用いて説明すると、電圧 $-\Delta V_0$ を或る値に固定した状態で、第 1 の方向に平行なパターン・エッジを第 2 の方向に走査したときに測定される電気信号が、その最大値の 1 2 % から 8 8 % まで変化するのに要する第 2 の方向での走査距離（単位ミクロン）である。

【 0 0 2 3 】

図 2 の（イ）において、グラフ A は電圧 ΔV_0 が $\Delta V_0(x)$ で最小である、即ち、立上りがもっとも鋭いことを示しており、同様に、グラフ B は電圧 ΔV_0 が $\Delta V_0(y)$ で最小である、即ち、立上りが最も鋭いことを示している。したがって、対物レンズ 1 2 の焦点条件、即ち、上側電極及び下側電極に印加する負電圧 $-\Delta V_0$ の値は、 $\{-\Delta V_0(x) - \Delta V_0(y)\} / 2$ に設定することが必要である。

【0024】

実際には、負電圧 $-\Delta V_o$ は0～-20ボルトまでしか変化しないので、10マイクロ秒という高速で対物レンズ12の整定を行うことができ、図2の(イ)のグラフA及びBを取得するのに150マイクロ秒しか要しなかった。

【0025】

また、曲線A、Bを測定するのに、このように多くの測定を行う必要はなく、 $-\Delta V_o$ の値3つに対して測定し、二次曲線で近似して立上りの最小値 $-\Delta V_o$ (y)、 $-\Delta V_o$ (x)を求めてもよい。その場合には、45マイクロ秒程度で測定を行うことができる。

【0026】

図2の(イ)のA、Bは双曲線の形状をしている。立ち上がり幅をp (mm)、対物レンズ電圧 $-\Delta V_o$ をq (ボルト)とすると、曲線A、Bはa、b及びcを定数として、

【0027】

【数1】

$$(p^2/a^2) - (q - c)^2/b^2 = 1$$

と表せる。そこで、3つのqの値 q_1 、 q_2 、 q_3 とそれらに対応するpの値 p_1 、 p_2 、 p_3 を上式に代入すると、次の3つの式が得られる。

【0028】

【数2】

$$(p_1^2/a^2) - (q_1 - c)^2/b^2 = 1 \quad (1)$$

$$(p_2^2/a^2) - (q_2 - c)^2/b^2 = 1 \quad (2)$$

$$(p_3^2/a^2) - (q_3 - c)^2/b^2 = 1 \quad (3)$$

これらの式(1)～(3)からa、b及びcの値が算出され、 $q = c$ のとき、最小値となる。即ち、立ち上がり幅が最小となる対物レンズ電圧 $-\Delta V_o$ (x)を3つのレンズ条件で求めることができたことになる。全く同様にして、 $-\Delta V_o$ (y)を求めることができる。

【0029】

図2の(イ)のグラフA、Bのように立上り幅がパターン・エッジを第1の方

向に走査したときと第2の方向に走査したときとで異なる場合が一般的である。こうした場合には、例えば8極の非点補正レンズ5に印加する電圧を調整して、第1の方向及びそれに直角な第2の方向においてパターン・エッジを走査したときの二次電子検出部15からの電気信号の立上りが更に小さくなるよう非点補正を行うことが必要である。

【0030】

前述のとおり、電子線走査・検出系20と同様の構成の電子線走査・検出系（図示せず）が、電子線走査・検出系20と並列する形で、互いの距離が試料14上のチップサイズの整数倍の距離になるよう配置され、それぞれの電子線走査・検出系において一次電子線が試料14上に合焦するよう焦点合わせを行う必要があるが、こうした焦点合わせは略同時に行うことが可能であるので、スループット・バジェットは僅かな値でしかない。

【0031】

この方法では、光学的なZセンサではなく、電子光学的な手段で合焦条件を求めているため、試料が帯電している場合にも正しい合焦条件が求められるという利点がある。

【0032】

以上説明したように電子線走査・検出系における焦点合わせを行ってから、試料14の評価を行うプロセスに移行する。図3は、図1に示す電子線装置を用いた半導体デバイス製造方法の一例を示すフローチャートである。この例の製造工程は、

- ①ウェーハを製造するウェーハ製造工程（又はウェーハを準備するウェーハ準備工程）
- ②露光に使用するマスクを製作するマスク製造工程（又はマスクを準備するマスク準備工程）
- ③ウェーハに必要な加工処理を行うウェーハ・プロセッシング工程
- ④ウェーハ上に形成されたチップを1個ずつ切り出し、動作可能ならしめるチップ組立工程
- ⑤できたチップを検査するチップ検査工程、

の主工程を含む。なお、上記の工程のそれぞれは更に幾つかのサブ工程からなっている。

【0033】

これらの主工程の中で、半導体デバイスの性能に決定的な影響を及ぼす主工程がウェーハ・プロセッシング工程である。この工程では、設計された回路パターンをウェーハ上に順次積層し、メモリやMPUとして動作するチップを多数形成する。このウェーハ・プロセッシング工程は、

- ①絶縁層となる誘電体薄膜や配線部、あるいは電極部を形成する金属薄膜等を形成する薄膜形成工程（CVDやスパッタリング等を用いる）
 - ②この薄膜層やウェーハ基板を酸化する酸化工程
 - ③薄膜層やウェーハ基板等を選択的に加工するためのマスク（レチクル）を用いてレジストのパターンを形成するリソグラフィ工程
 - ④レジストパターンに従って薄膜層や基板を加工するエッチング工程（例えばドライエッチング技術を用いる）
 - ⑤イオン・不純物注入拡散工程
 - ⑥レジスト剥離工程
 - ⑦更に加工されたウェーハを検査する検査工程、
- の工程を含む。なお、ウェーハ・プロセッシング工程を必要な層数だけ繰り返すを行い、設計通り動作する半導体デバイスを製造する。

【0034】

図4は、図3のウェーハ・プロセッシング工程の中核をなすリソグラフィ工程を示すフローチャートである。このリソグラフィ工程は、

- ①前段の工程で回路パターンが形成されたウェーハ上にレジストをコートするレジスト塗布工程
 - ②レジストを露光する露光工程
 - ③露光されたレジストを現像してレジストのパターンを得る現像工程
 - ④現像されたレジストパターンを安定化させるためのアニール工程、
- の工程を含む。

【0035】

以上の半導体デバイス製造工程、ウェーハ・プロセッシング工程、リソグラフィ工程は周知のものであり、これ以上の説明を省略する。

上記検査工程⑦に対して、この発明に係る電子線装置を用いた欠陥検査装置を用いることにより、微細なパターンを有する半導体デバイスをも、スルプットよく検査することができるので、全数検査が可能となり、製品の歩留りの向上、欠陥製品の出荷防止が可能となる。

【 0 0 3 6 】

【発明の効果】

以上、この発明に係る電子線装置の若干の実施の形態についての説明から理解されるように、この発明は、

- (1) 試料面の高さを測定するための光学式センサを使用する必要がないので、対物レンズと試料との間を電子光学系のみで最適設計することが可能になる、
 - (2) 電子線走査・検出系の焦点合わせは低電圧の調整のみで可能であるので、整定時間を短縮することができる、即ち、短時間で焦点合わせを行うことができる、
 - (3) 必要に応じて、焦点合わせの操作の中で、非点補正をも短時間で行うことが可能である、
 - (4) プロセス途中の試料を短時間で評価することができることになるので、デバイス製造の歩留まりを向上させることができる、
- という格別の効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

、【図 1】

この発明に係る電子線装置の一つの実施の形態を概略的に示す図である。

【図 2】

(イ) は、対物レンズに印加する負電圧と電気信号の立上り幅との間の関係を示すグラフであり、(ロ) は、電気信号の立上り幅を説明するための図である。

【図 3】

図 1 に示す電子線装置を用いた半導体デバイス製造方法の一例を示すフローチャートである。

【図 4】

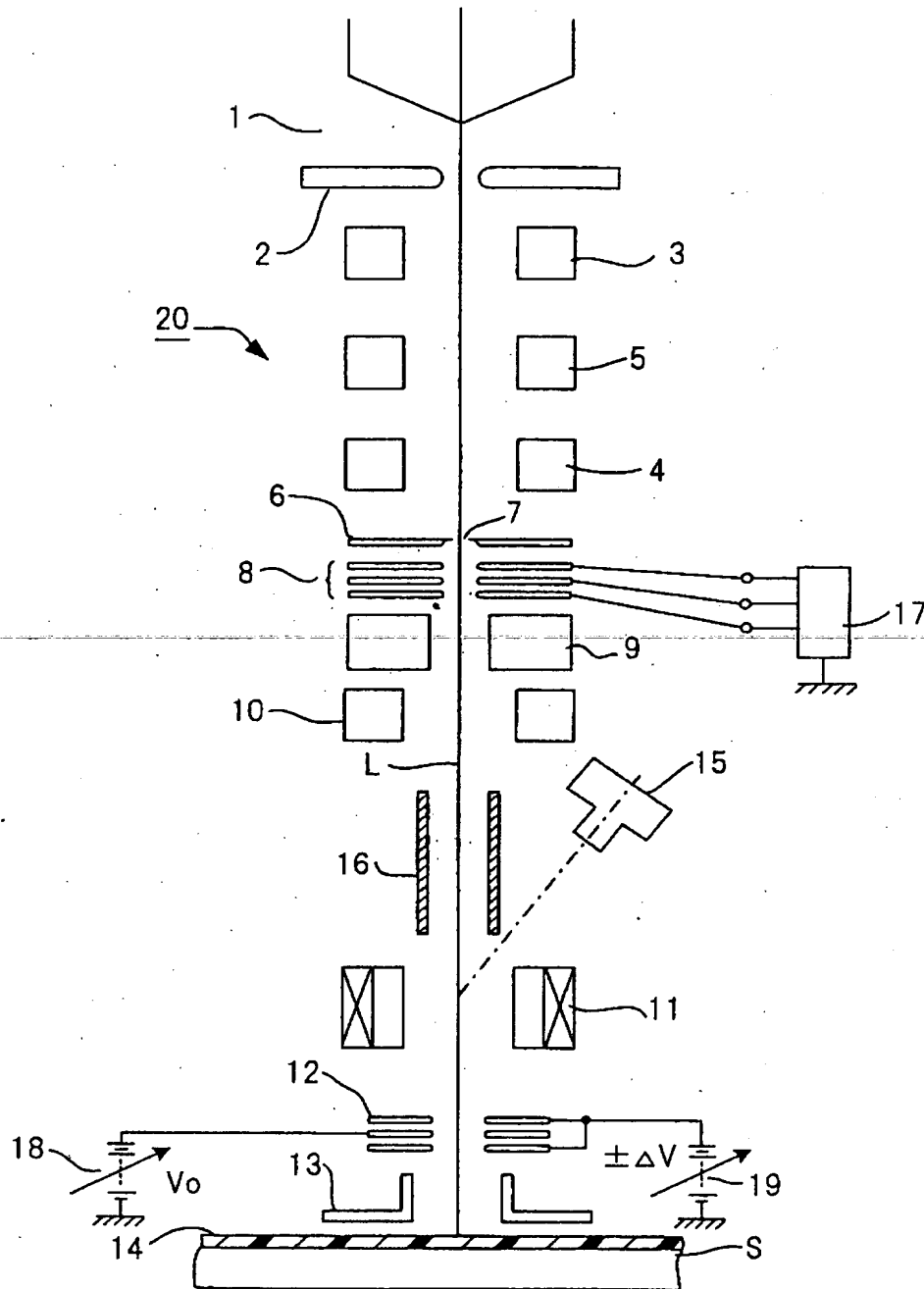
図 3 のウェーハ・プロセッシング工程の中核をなすリソグラフィ工程を示すフローチャートである。

【符号の説明】

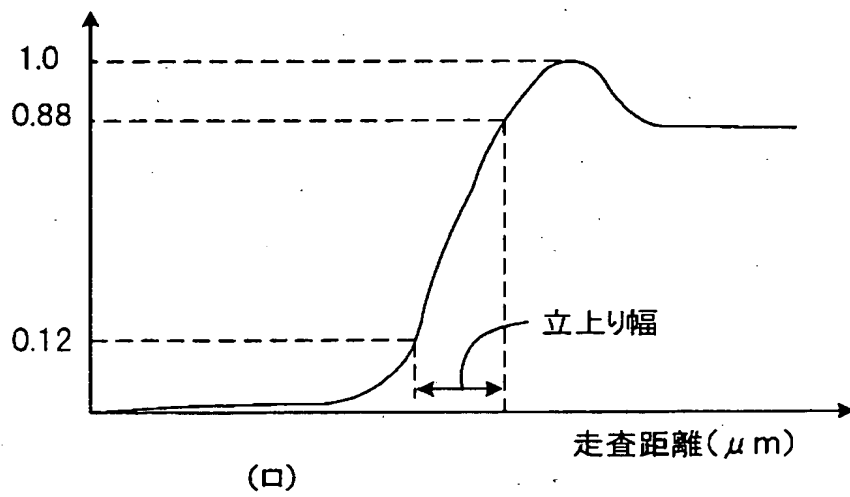
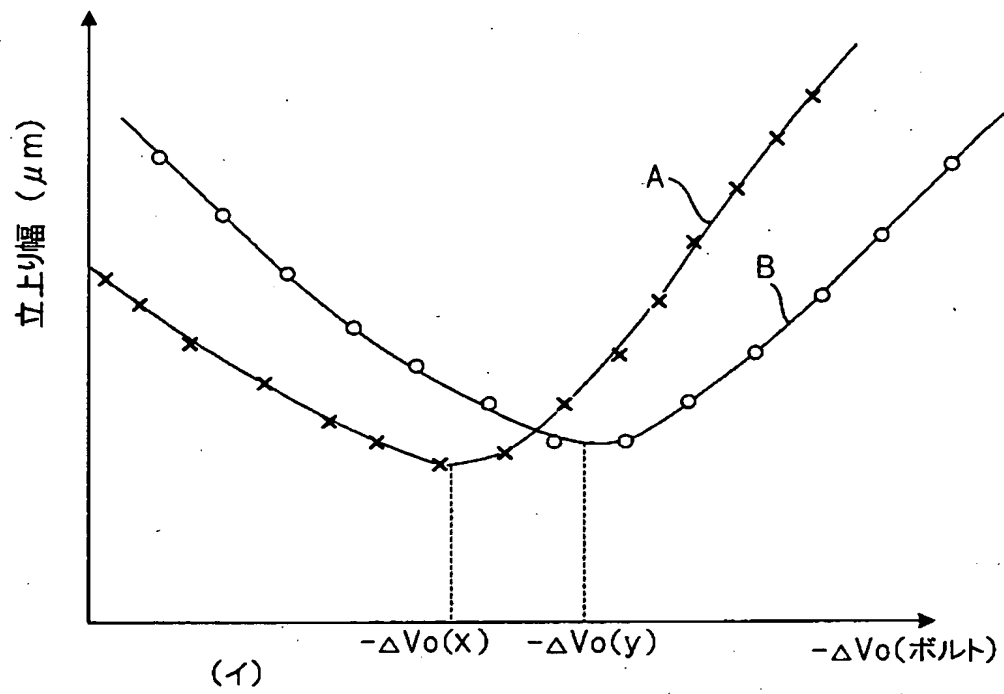
1 : 電子銃、 2 : アノード、 3、4 : 偏向器、 5 : 非点補正レンズ、 6 : 開口板、 7 : 小孔、 8 : コンデンサ・レンズ、 9、10 : 偏向器、 11 : ウィーン・フィルタ、 12 : 対物レンズ、 13 : 軸対称電極、 14 : 試料、 S : ステージ、 15 : 二次電子検出部、 16 : 鏡筒、 17、18、19 : 電源、 20 : 電子線走査・検出系

【書類名】 図面

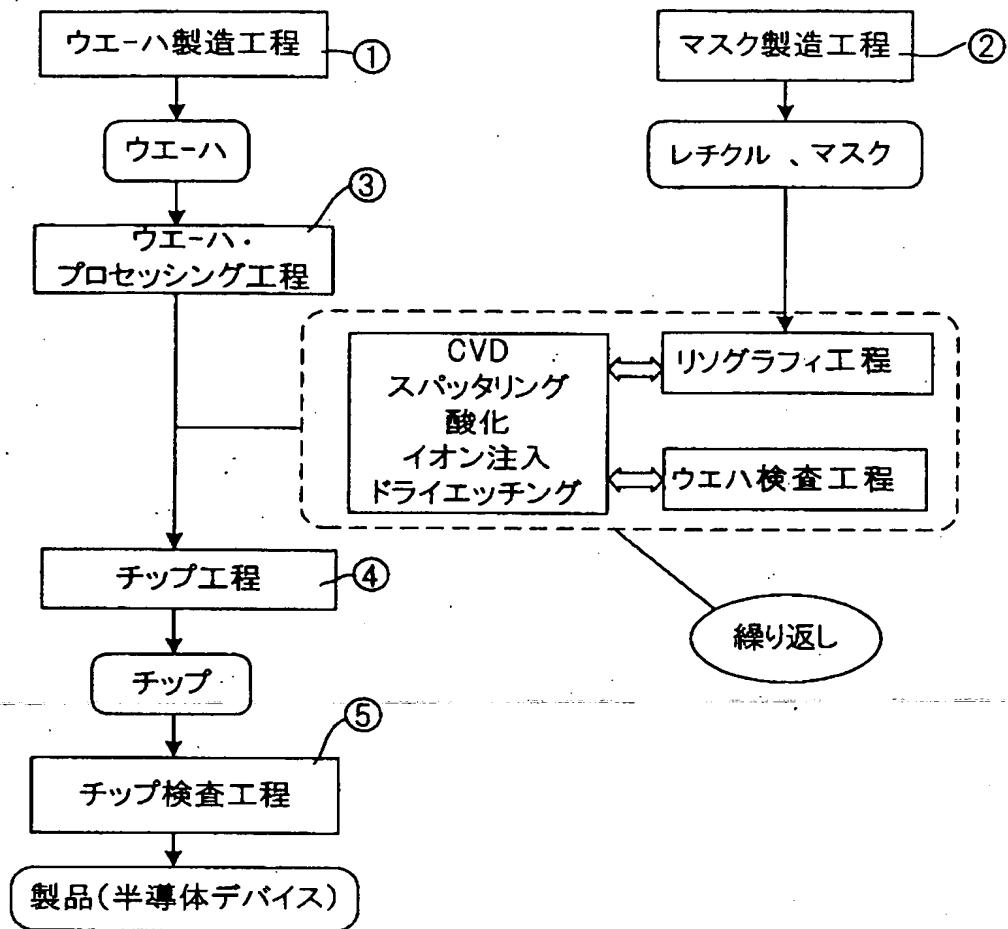
【図 1】



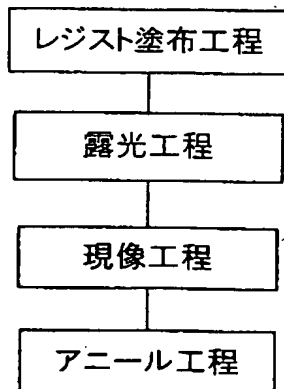
【図 2】



【図 3】



【図 4】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 短時間で電子線装置の焦点合わせを行うこと。

【解決手段】 電子線装置は、試料 1 4 上のパターンを、対物レンズ 1 2 を含む電子光学系により電子線で走査することにより、パターン評価を行う。このため、電子線装置は、第 1 の方向に平行なパターン・エッジを第 2 の方向に走査したときの二次電子信号波形の立ち上がりが最も急峻になる第 1 の励起電圧と、第 2 の方向に平行なパターン・エッジを第 1 の方向に走査したときの二次電子信号波形の立ち上がりが最も急峻になる第 2 の励起電圧とを検出する検出手段と、第 1 の励起電圧と前記第 2 の励起電圧との代数平均を求める算出手段と、対物レンズを、前記代数平均に等しい電圧で励起する励起手段とを具備する。

【選択図】 図 1

特2001-036088

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000000239]

1. 変更新月日 1990年 8月31日
[変更理由] 新規登録
住 所 東京都大田区羽田旭町11番1号
氏 名 株式会社荏原製作所